УДК 504: 621.74

**И.А. ИВАНОВА, В.Я. МАНОХИН**

# ОЦЕНКА ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ УЧАСТКА ЧЕРНОГО ЛИТЬЯ

*Анализируются теоретические и экспериментальные данные химического, дисперсного состава пыли литейного производства. Экспериментально определены параметры истинной плотности пыли, отходящей от пескоструйных аппаратов и участка выбивки отливки из форм ОАО «Роствертол». Предложены технические мероприятия по снижению загрязнения рабочих зон этих участков.*

***Ключевые слова:*** *литейное производство, рабочая зона, седиментационный анализ, дисперсный состав пыли, запыленность, пескоструйные аппараты.*

**Введение.** Снижение эмиссии вредных веществ в рабочую зону операторов литейного производства является актуальной задачей, имеющей большое социальное и экономическое значение. Литейное производство предприятия авиационного профиля структурно составляют участки черного и цветного литья.

Литейное производство характеризуется выбросами следующих ингредиентов: пыль сырья, пыль, отходящая от технологических процессов приготовления литейных форм и их разрушения в процессе освобождения литья от формовочной смеси, а также топочных оксидантов в зависимости от вида используемого топлива. К примеру, при использовании природного газа - это в первую очередь оксиды азота и оксиды углерода, при использовании жидких углеводородных топлив - это выбросы в рабочую зону оксидов серы [1]. Однако наиболее токсичными в процессах горения топлив являются высокомолекулярные углеводороды, в частности, канцерогенный бенз(а)пирен.

Опасна для здоровья работников также пыль, содержащая свободную двуокись кремния - $SiO_2$ (кремнезем). Ядовитость кремнезема мала, однако при длительном вдыхании происходят медленно развивающиеся изменения в легких, причем выявлена прямая зависимость между весовой концентрацией пыли в воздухе и заболеваемостью дышащих ее людей.

Опасность пыли для здоровья определяется также ее гранулометрическим составом, т.е. количественным соотношением в ней фракций пыли различных размеров. Крупные частицы пыли задерживаются на слизистой оболочке верхних дыхательных путей, частицы же с размерами менее 10 мкм могут проникать в альвеолы легких, где и задерживается основная их часть. Класс опасности - 3, ПДК = 0,5 мг/м$^3$.

Начальная запыленность на участках приготовления и разрушения литейных форм, а также на пескоструйном участке характеризуется изменением в широких пределах как элементного состава образовавшейся пыли, так и ее дисперсности. Это зависит от типа оборудования и режима его работы, а также вида приготовляемой смеси и характеристик исходного материала.

При наличии пыли, имеющей пластинчатую форму, оседание частиц в рабочей зоне и в инерционных пылеуловителях ухудшается вследствие больших скоростей ее витания.

**Постановка задачи.** Разработка технических и организационных мероприятий по снижению загрязнения рабочей зоны операторов, связанных с очисткой организованных и неорганизованных выбросов.

**Определение химического и дисперсного состава пыли.** Определение количества неорганизованных выбросов возможно тремя способами. Расчет по первому способу может быть представлен как оценка площадного источника

$$Q=[(C^{k}{}_{c(0-1)}-C^{H}{}_{c(0-1)})W_{c(0-1)}+(C^{K}{}_{c(1-2)}-C^{H}{}_{c(1-2)})W_{c(1-2)}]\cdot 3600\cdot z\cdot h\cdot L\cdot 10^{-6},\ \text{кг/год} \quad (1)$$

где $C^{к}_{c(0-1)}$, $C^{к}_{c(1-2)}$ - средняя концентрация вредных веществ в потоке воздуха за обследуемым объектом в соответствующих интервалах высот, мг/м$^3$; $C^{H}_{C(0-1)}$; $C^{H}_{C(1-2)}$- средняя концентрация вредных веществ в потоке воздуха перед обследуемым объектом в соответствующих интервалах высот, мг/м$^3$; $W_{C(0-1)}$; $W_{C(1-2)}$ - средняя скорость ветра в соответствующих интервалах высот за обследуемым объектом, м/с; $z$ - время работы в течение года, ч; $h$ – высота условной плоскости, м; $L$- длина проекции условной плоскости, м.

Методические указания [2], согласованные с Госкомгидрометом, представляют собой второй способ оценки количества пыли

$$Q=3,6\cdot10^{-3}\cdot S\cdot W\cdot(C_i - C_0)\cdot z,\quad \text{кг/год}, \qquad (2)$$

где $S$ - площадь поперечного потока загрязненного воздуха, м$^2$; $W$- скорость ветра во время отбора проб, м/с; $C_0$ – минимальная концентрация, мг/м$^3$; $C_i$ – максимальная концентрация, мг/м$^3$; $3{,}6\cdot10^{-3}$ - переводной коэффициент; $z$ - время работы на исследуемом участке в течение года, ч.

Третий способ определения количества пыли рассчитывается по формуле:

$$П=\frac{p\cdot m}{100},\quad \text{кг/год}, \qquad (3)$$

где $p$ - убыль материалов (%); $m$ - масса сырья литейного производства, кг/год.

Нормы естественной убыли сырья литейного производства приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормативы естественной убыли (потерь) сырья литейного производства, %

| Материал | Вид хранения и укладки | При складском хранении, % | При погрузке, % | При разгрузке, % |
|---|---|---|---|---|
| Сырье, формовочные смеси | При механизированном складировании | 1,0 | 0,4 | 0,4 |

Максимальное пылегазовыделение в литейных цехах производится вагранками, электродуговыми и индукционными печами, участками складирования и переработки шихты и формовочных материалов, выбивки и очистки литья.

При плавке 1 т металла в открытых чугунолитейных вагранках выделяется 900-1200 м$^3$ колошникового газа, содержащего оксиды углерода, серы и азота, пары масел, полидисперсную пыль и др. При разбавлении колошникового газа воздухом, подсасываемым через завалочное окно вагранки, количество отходящих газов увеличивается в 1,5-3,5 раза.

Химический состав ваграночной пыли зависит от состава металлозавалки, топлива, условий работы вагранки и может колебаться в следующих пределах (масс. доли, %): $SiO_2$ – 20-50; $CaO$ – 2-12; $AL_2O_3$ – 0,5-6; $MgO$ – 0,5-4; ($FeO+Fe_2O_3$) – 10-36; $MnO$ – 0,5-2,5; C – 30-45.

Дисперсный состав ваграночной пыли представлен размерами частиц от 1 до 150 мкм. При горячем дутье мелкодисперсной пыли образуется значительно больше (от 1 до 25 мкм, около 50%), при холодном дутье - порядка 10%. Медианный размер пыли при горячем дутье 20 мкм, а при холодном дутье 70 мкм. Это подтверждает наличие значительного количества «легочной» пыли при горячем дутье.

В закрытых чугунолитейных вагранках производительностью 5-10 т/ч на 1 т выплавленного чугуна выделяется 11-13 кг пыли, 190-200 кг оксида углерода, 0,4 кг диоксида серы, 0,7 кг углеводородов и др. Концентрация пыли в отходящих газах составляет 5-20 г/м$^3$, медианный размер пыли 35 мкм.

Примерный элементный состав пыли при плавке в электродуговых печах в массовых долях зависит от марки выплавляемой стали, масс. доли, %: $Fe_2O_3$ – 56,8; $Mn_2O_3$ – 10,0; $AL_2O_3$ – 5,0; $SiO_2$ – 6,9; $CaO$ – 6,9; $MgO$ – 5,8; остальное - хлориды, оксиды хрома и фосфора. При плавке стали в индукционных печах, по сравнению с электродуговыми, выделяется незначительное количество газов и в 5 – 6 раз меньше пыли, по размеру более крупной, при этом превалирует опасная мелкодисперсная пыль от 0 до 6 мкм (80 %). В индукционных печах пыли и газов выделяется значительно меньше.

От участков выбивки литья на 1 м$^2$ площади решетки выделяется до 45-60 кг/ч пыли, 5-6 кг/ч оксида углерода, до 3 кг/ч аммиака. Значительными выделениями пыли сопровождаются процессы очистки и обрубки литья. Работа пескоструйных и дробеструйных камер, очистных барабанов и столов сопровождается интенсивным выделением пыли с медианным размером 20-60 мкм. Концентрация пыли в воздухе, отводимом от камер и барабанов, составляет 2-15 мг/м$^3$.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Значительное количество пыли и газов выделяется в атмосферу участками литейных цехов по приготовлению, переработке и использованию шихты и формовочных материалов. В частности, пылеулавливание в литейном цехе черного литья ОАО «Роствертол» осуществляется спаренными коническими циклонами НИОГАЗА серии СК, которые обладают более высокой эффективностью по сравнению с циклонами ЦН. Это достигается за счет большего гидравлического сопротивления циклона серии СК.

Определение истинной плотности проводили на приборе Ле Шателье с погрешностью не более 5% [3], результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Истинная плотность пробы

| № п/п | Наименование пробы | Плотность, г/м$^3$ |
|---|---|---|
| Проба 1 | Пескоструйные аппараты | 4,50 |
| Проба 2 | Выбивная решетка участка стального литья | 2,95 |

Определение фракционного состава проб №1 и №2 проводили на седиментометре с использованием катетометра с суммарной погрешностью не более 5,5%. Результаты седиментационного анализа представлены в табл.3.

Таблица 3

Результаты седиментационного анализа

| Радиус частиц, мкм | Массовая доля фракций, % | |
|---|---|---|
| | Проба 1<br>Пескоструйные аппараты | Проба 2<br>Выбивная решетка участка стального литья |
| >100 | 76,0 | 76,7 |
| 100-70 | 8,7 | 20,7 |
| 70-50 | 13,0 | 2,6 |
| <50 | 2,3 | 0 |

Результаты седиментационного анализа дисперсности пыли цеха черного литья показывают (см. табл.3), что доминируют частички с диаметрами > 200 мкм (76 % - пыль пескоструйных аппаратов, 76,7 % - пыль от выбиваемых решеток). Остальная пыль представлена фракциями 200 – 0 мкм, при этом содержание мелкодисперсной пыли в пескоструйном аппарате составляет 2,3%, на участке выбивки отливки из формы мелкодисперсная пыль отсутствует.

На последующем этапе эксперимента проводили уточнение дисперсного состава пыли рентгеноспектральным микроанализом (РСМА) с помощью сканирующего электронного микроскопа «Camscan S4» с системой энергодисперсионного рентгеновского анализа и кристаллодифракционными спектрометрами. Его цель – определение дисперсного и химического состава пыли, визуализация размера частиц. Программы для количественного анализа ZAF 4 и ZAF PB.

Метод электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа (РСМА) основан на регистрации и изменении рентгеновского излучения, испускаемого поверхностью образца под действием облучения пучком электронов с энергией 10-40 кэВ. По способу регистрации рентгеновского излучения и построению спектра различают две разновидности метода:

1) спектрометрия с дисперсией по длинам волн, использующая кристалл-дифракционные спектрометры;

2) спектрометрия с дисперсией по энергии, использующая полупроводниковый дитектор.

Спектрометры обеих разновидностей являются приставками к сканирующему электронному микроскопу.

Количественный анализ основан на сравнении интенсивности характеристического рентгеновского излучения от исследуемого образца и эталонов (стандартных образцов известного состава).

Измерения проводились при следующих параметрах окружающей среды: температура от-288 до 303 *°К,* относительная влажность не выше 70%. Максимальный размер образцов 55х55х10 мм, образцы не должны содержать влагу. Образцы подобраны гомогенными в пределах анализируемого объёма. Массивным образцам для повышения точности анализа придавалась плоскопараллельная форма посредством механической обработки. Анализируемый участок поверхности полировался. При этих условиях расчёт концентраций производили по программе ZAF4.

Суммарная погрешность измерения дисперсного состава пыли не превышает 4%. Оценка воспроизводимости экспериментальных данных соответствует доверительной вероятности 95 % по критерию Стьюдента.

Анализ данных эксперимента показывает наличие частиц диаметром от 15 до 125 мкм, отходящих от пескоструйного участка, и диаметром от 25 до 200 мкм от выбивных решеток.

Циклоны СК – ЦН имеют IV-й класс пылеуловителя при допустимой входной концентрации пыли 1000 г/м$^3$, с гидравлическим сопротивлением 4 КПа, производительностью по газу от 2,54 до 92 тыс. м$^3$/ч, с паспортной эффективностью очистки 95 %.

Учитывая низкую эффективность сухого способа пылеулавливания, целесообразно проводить доукомплектацию существующих систем пылеулавливания оборудованием для улавливания пыли мокрым способом, например, скруббером Вентури.

Высокоэффективные скрубберы Вентури ГВПВ (II-го класса) имеют более высокое гидравлическое сопротивление (от 6 до 12 КПа), производительность по газу от 1,7 до 84 тыс. м$^3$/ч и обладают эффективностью очистки газов от пылей любого дисперсного состава 96 – 98%.

С целью снижения запыленности и загазованности в рабочей зоне выбивной решетки целесообразна установка трехстороннего верхнебокового шатрового зонта с двусторонним отсосом и подачей компенсирующего воздуха.

Согласно СНиП 2.04.05-86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» предельно допустимая концентрация пыли $C_п$, мг/м$^3$ в технологических и вентиляционных выбросах, подвергаемых рассеиванию, определяется в зависимости от объема выбрасываемого воздуха $L$, тыс. м$^3$/ч. При объеме более 15 тыс. м$^3$/ч $C_п=100R$; при объеме 15 тыс. м$^3$/ч и менее $C_п=R$ (160 – 4L), где $R$ – коэффициент, принимаемый в зависимости от ПДК$_{рз}$ пыли в воздухе рабочей зоны помещения на постоянных рабочих местах:

| ПДК$_{рз}$, мг/мз.............. | $\le 2$ | >2-4 | >4-6 | >6-10 |
|---|---|---|---|---|
| $R$ .......................... | 0,3 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |

Выбросы воздуха с концентрацией пыли, превышающей $C_п$, не допускается рассеивать в атмосферу без предварительной очистки. Для участков черного литья, где в наличии пыль формовочная с металлической, $C_п$ = 60 мг/м$^3$.

**Выводы.** Дисперсный анализ пыли показывает, что доминируют частички с диаметрами > 200 мкм (76% - пыль пескоструйных аппаратов, 76,7% - пыль от выбиваемых решеток). Остальная пыль представлена фракциями 200-0 мкм, при этом содержание пыли мелкодисперсной в пескоструйном аппарате составляет 2,3%, на участке выбивки отливки из формы мелкодисперсная пыль отсутствует, что представляется маловероятным и подтверждает целесообразность замеров концентрации пыли в потоке воздуха в выпускной трубе.

## Библиографический список

1. Белов С.В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
2. Методические указания по установлению норм предельно допустимых выбросов для производственных предприятий. – М., 1987.
3. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытания: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного строительного комитета СССР от 05 октября 1988 года № 203. Взамен ГОСТ 8735-75 и ГОСТ 25589-83.

Материал поступил в редакцию 0.2.02.2010.

**I. A. IVANOVA, V. Y. MANOKHIN**

## ESTIMATION OF DUST DISPERSE COMPOSITION OF FERROUS CASTING SECTION

Theoretical and experimental data on chemical, disperse composition of foundry dust are analyzed. Parameters of true density of dust coming out of sandblast machines and the section of castings shake-out from moulds of PLC "Rostvertol" have been determined experimentally. Technical measures on pollution reduction of working zones of these sections are proposed.

**Key words:** foundry engineering, sedimentation analysis, disperse dust composition, dust level, working zone, sandblast machines, knocking-out grate.

**ИВАНОВА Ирина Александровна**, ассистент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность» Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Окончила Воронежский государственный университет (2004).

Область научных интересов: определение дисперсного и химического состава пыли участка черного литья.

Количество публикаций – 16.

Ivanova-eco@mail.ru

**МАНОХИН Вячеслав Яковлевич** (1942), доктор технических наук (2005), профессор (2006) Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Окончил Харьковский авиационный институт (1967).

Область научных интересов: методика определения количества организованных и неорганизованных выбросов пыли.

Количество публикаций – 179.